

Danuta J. MICHCZYŃSKA, Adam MICHCZYŃSKI,  
Tomasz GOSLAR, Anna PAZDUR, Mieczysław F. PAZDUR

## STATYSTYCZNA ANALIZA DANYCH RADIOWĘGLOWYCH W BADANIACH ZMIAN ŚRODOWISKA NATURALNEGO W PRZESZŁOŚCI. WSTĘPNE WYNIKI

**Streszczenie.** Od prawie 20 lat w Gliwickim Laboratorium Radiowęglowym stosowana jest metoda określania wieku próbek wykorzystująca prawo rozpadu promieniotwórczego w odniesieniu do izotopu węgla  $^{14}\text{C}$ . Liczba wszystkich oznaczeń wieku radiowęglowego wykonanych w Gliwicach przekracza 6000. W większości są to datowania dotyczące terenu Polski. Informacje dotyczące datowań gromadzone są w specjalnie do tego celu stworzonej relacyjnej bazie danych – GdRDB. Zgromadzone do tej pory w bazie informacje, obejmujące około 3000 datowań, są traktowane w sposób statystyczny jako zbiór danych fizycznych w celu wyodrębnienia ich cech odnoszących się do zmian środowiska, w tym przede wszystkim do zmian klimatu w przeszłości. W artykule omówione są założenia stosowanej analizy statystycznej oraz prezentowane są jej wstępne wyniki dotyczące terenu Polski.

## STATISTICAL ANALYSIS OF RADIOCARBON DATA IN THE STUDY OF ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE PAST. PRELIMINARY RESULTS

**Summary.** The radiocarbon dating method has been used in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for nearly 20 years. Altogether more than 6000 analysis have been done. Majority of samples come from the area of Poland. All essential informations concerning samples are stored in the Gliwice Radiocarbon Databank. The data collected till now, concern 3000 samples. They are regarded as physical data, and elaborated statistically, with special emphasis on their properties related to the past environmental and climatic changes. In this paper we discuss the basic assumptions of statistical analysis we use, together with some preliminary results.

## 1. Wstęp

Metoda datowania radiowęglowego jest standardowo wykorzystywana w badach archeologicznych, w geologii czwartorzędu jak również w badaniach zmian środowiska. Chronometria radiowęglowa jest podstawową metodą fizyczną ustalania skali czasowej procesów geologicznych w przedziale ostatnich 50 tysięcy lat. W typowych opracowaniach geologicznych datowania radiowęglowe wykorzystywane są do określania wieku szczątków organicznych występujących w obrębie badanego profilu geologicznego bądź też w obrębie kilku stanowisk znajdujących się na niewielkim obszarze w celu odtworzenia ciągu procesów geologicznych i określenia tempa zmian środowiskowych. Otrzymany w ten sposób obraz zmian lokalnych jest uogólniany do skali regionalnej.

W podejściu geofizycznym, które jest zasadniczą cechą podjętych badań, datowania radiowęglowe są traktowane w sposób statystyczny jako zbiór danych fizycznych w celu wyodrębnienia ich cech odnoszących się do globalnych zmian środowiska, w tym przede wszystkim globalnych zmian klimatu w przeszłości.

W trakcie ponad 20-letniej działalności w archiwach Gliwickiego Laboratorium Radiowęglowego zgromadzono informacje o ponad 6000 wykonanych datowań. Aby wykorzystywać te informacje konieczne stało się stworzenie relacyjnej struktury bazy danych o datowaniach radiowęglowych wykonanych w Gliwicach – GdRDB. W bazie tej gromadzone są informacje dotyczące każdego datowania, w tym dane podstawowe (numer laboratoryjny, nazwa i materiał próbki, wiek radiowęglowy i błąd pomiaru), informacje o procedurze pomiarowej, ewentualnych zanieczyszczeniach i sposobach ich eliminacji oraz informacje natury środowiskowej, w tym położenie i współrzędne geograficzne miejsca poboru próbki. Wszystkie te dane zapisywane są w 47 polach bazy danych (Michczyński A., Pazdur M.F., 1989, Michczyński A. Pazdur M.F., 1994). Zgromadzone do tej pory w bazie informacje obejmują około 3000 datowań, w większości dotyczących terenu Polski.

## 2. Założenia i ograniczenia statystycznej analizy danych radiowęglowych

Analizie statystycznej poddawane są rozkłady częstości dat radiowęglowych otrzymanych dla próbek z obszaru Polski. Analiza ta opiera się na dwóch podstawowych założeniach (Goździk J., Pazdur M.F., 1987):

1. Liczba próbek datowanych metodą C-14 jest proporcjonalna do całkowitej ilości materii organicznej zdeponowanej w osadach.

2. Całkowita ilość materii organicznej zdeponowanej w osadach zależy od warunków paleośrodowiskowych.

Ponieważ powstawanie różnych typów osadów jest związane z charakterystycznymi warunkami środowiskowymi, to wydaje się oczywiste, że aby uzyskać informację o tych warunkach należy różne osady analizować oddzielnie. Na podstawie kształtu rozkładów częstości dat radiowęglowych można wnioskować o występowaniu warunków sprzyjających (lub nie) sedymentacji analizowanego typu osadu w określonych przedziałach czasowych. Wydaje się również oczywiste, że osady o podobnych warunkach sprzyjających ich powstawaniu powinny mieć podobne rozkłady częstości dat konwencjonalnych.

Sformułowane założenia narzucają ograniczenia co do typu próbek, których daty radiowęglowe mają być analizowane:

- Z analiz należy wyłączyć datowania archeologiczne, gdyż wieloletnie badania prowadzone na jakimś stanowisku archeologicznym owocują często dużą ilością dat radiowęglowych nieproporcjonalną do warunków paleośrodowiskowych, a zależną np. od rangi danego stanowiska archeologicznego czy posiadanych funduszy na datowania. Na wykresie rozkładu częstości wystąpić mogą wówczas fałszywe maksima.
- Należy również wyłączyć z analiz datowania wykonywane na potrzeby badaczy dostarczających duże ilości próbek z pojedynczych stanowisk, czy też małych rejonów. Usuwamy w ten sposób dominujący wpływ efektów lokalnych.

Na rozkłady częstości dat mają wpływ czynniki subiektywne. Rozkłady częstości dat radiowęglowych wykonywanych na potrzeby nauk przyrodniczych mogą być zafalszowane subiektywnym doбором próbek przez zleceniodawcę. Ze względów ekonomicznych (ograniczone fundusze na datowania) do analiz radiowęglowych wybierane są tylko próbki z poziomów interesujących (z punktu widzenia badacza) lub z poziomów o spornym wieku. Błędy z tym związane są trudne, jeśli nie niemożliwe do usunięcia. W analizach trzeba uwzględniać fakt, że osady młodsze (leżące bliżej powierzchni) jako łatwiej dostępne są lepiej opróbowane niż starsze.

Niezależnie od tych czynników istnieją obiektywne czynniki pozalaboratoryjne, decydujące o poprawności samego wyniku datowania, związane z zanieczyszczeniami próbek młodszym lub starszym węglem (nie są one możliwe do usunięcia) oraz związane ze zmianami koncentracji izotopu  $^{14}\text{C}$  w przeszłości (może to być przyczyną występowania pewnych minimów czy też maksimów na analizowanych wykresach rozkładów częstości dat). Aby pozbyć się tego źródła błędu, należy dokonać kalibracji dat radiowęglowych.

### 3. Sposób prezentacji wyników

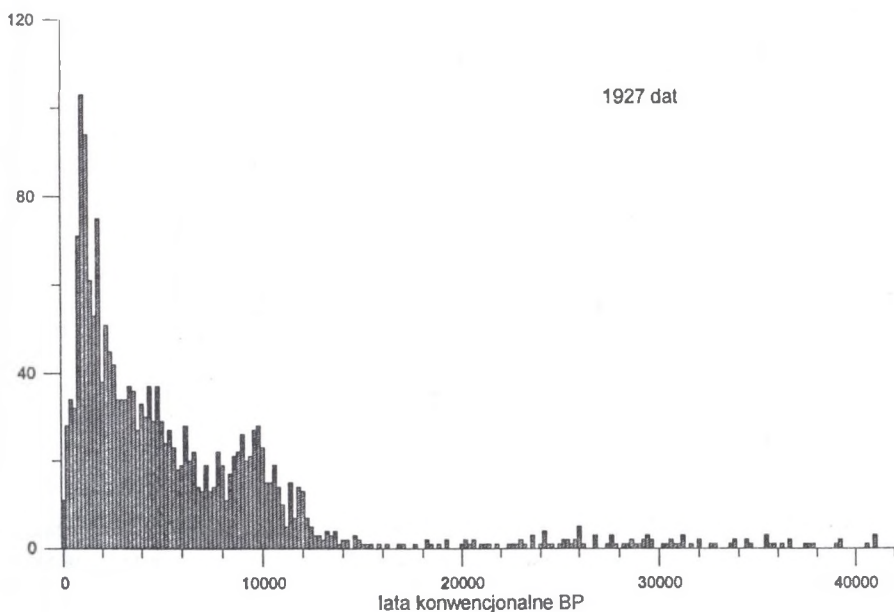
Wynik datowania radiowęglowego, jak każdego pomiaru fizycznego, jest podawany w postaci wartości zmierzonej (w tym przypadku wieku konwencjonalnego) i jej błędu. Przyczyną tego błędu jest występowanie w trakcie procesu pomiarowego bardzo wielu trudnych do uchwycenia czynników, które mogą w sposób przypadkowy zakłócać przebieg pomiaru. W takim przypadku wielokrotne powtarzanie pomiaru daje za każdym razem nieco inne wyniki, które jednak podlegają określonemu rozkładowi prawdopodobieństwa, w tym przypadku rozkładowi Gaussa. Zatem podanie wyniku w postaci  $D \pm \sigma$  oznacza, że z prawdopodobieństwem 68 % rzeczywisty wiek nie różni się od  $D$  o więcej niż  $\sigma$ , a z prawdopodobieństwem 95 % rzeczywisty wiek nie różni się od  $D$  o więcej niż  $2\sigma$ . Aby uwzględnić te błędy datowania należy przy analizie częstości występowania dat konwencjonalnych brać pod uwagę rozkłady gaussowskie dat, a nie same daty. W tym celu zamiast histogramu ilości dat o konkretnych wiekach radiowęglowych sporządzamy wykres, będący sumą rozkładów normalnych dat  $^{14}\text{C}$  (który następnie normujemy, tak aby pole pod wykresem było równe 1).

Kalibracja dat wykonywana jest za pomocą gliwickiego programu kalibracyjnego GdCALIB (Michczyńska D. J., Pazdur M. F., 1989; Pazdur M. F., Michczyńska D. J., 1989), dostosowanego do kalibracji bardzo dużych grup dat.

### 4. Wyniki wstępnej analizy statystycznej

Pierwszym krokiem do przeprowadzania analizy statystycznej danych radiowęglowych może być sporządzenie histogramu obrazującego częstość występowania kolejnych dat konwencjonalnych. Wykorzystano w tym celu daty symetryczne, tzn. w postaci wiek  $\pm$  błąd, otrzymane dla próbek z terenu Polski, o których informacja jest wprowadzona do bazy danych. Łącznie tych dat jest 1927. W celu uzyskania większej przejrzystości ilości dat są sumowane w przedziałach dwustuletnich. Tak skonstruowany histogram przedstawiony jest na rys.1.

Ponieważ do sporządzenia histogramu wykorzystano daty dla wszystkich próbek z terenu Polski, to histogram ten jest „zniekształcony” datami z obiektów archeologicznych, jak również tym, że dotyczy wszystkich rodzajów datowanych materiałów. Jednak nawet z takiego wstępnego histogramu można uzyskać informację, że w okresie 15–20 tys. lat BP ilość znalezionej i wydatanego materiału organicznego jest drastycznie mała. Jest to obraz zgodny z przewidywaniami, gdyż na ten okres przypada maksimum zlodowacenia na terenie Polski. Możliwość uzyskania tego typu informacji zdaje się potwierdzać przydatność analizy dat radiowęglowych traktowanych jako zbiór danych fizycznych w celu wyodrębnienia cech odnoszących się do globalnych zmian środowiska w przeszłości.

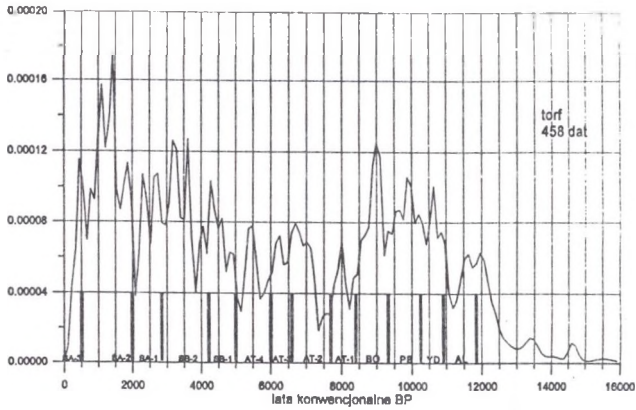


Rys. 1. Histogram częstości dat radiowęglowych dla 1927 próbek z terenu Polski. Ilości dat sumowane są w przedziałach dwustuletnich

Fig. 1. Frequency distribution of 1927 radiocarbon dates from Poland

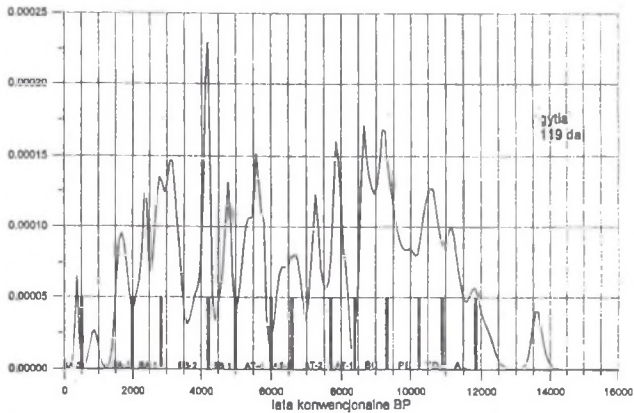
Rysunki 2 i 3 przedstawiają rozkłady częstości dat uzyskane odpowiednio dla próbek torfu i gytii w przedziale czasu 0–16000 tys lat BP. Opracowania wymaga jeszcze kryterium istotności poszczególnych maksimów i minimów, ale generalne informacje, które można uzyskać z tych rysunków (przedziały czasu sprzyjające powstawaniu osadu lub nie) są w dobrej zgodności z podziałem chronostratygraficznym Holocenu podanym przez L. Starkla (L. Starkel, 1991). Na rycinach granice okresów zaznaczone są pionowymi odcinkami. Wykresy otrzymane dla torfu i gytii wykazują duże podobieństwo pod względem położenia maksimów i minimów. Na obu rysunkach np. bardzo wyraźne zaznaczone są minima około 2000, 5000 i 8400 lat BP.

Aby pozbyć się czynnika zniekształcającego obraz rozkładu częstości związanego ze zmianami koncentracji izotopu  $^{14}\text{C}$ , w przeszłości dokonano kalibracji dat radiowęglowych. Dzięki tej operacji uzyskujemy rozkłady częstości dat radiowęglowych w skali lat kalendarzowych. Kalibracji poddano również wartości wieków odpowiadających granicom faz klimatycznych. Otrzymane rozkłady częstości dat kalibrowanych przedstawiają rysunki 4 i 5.



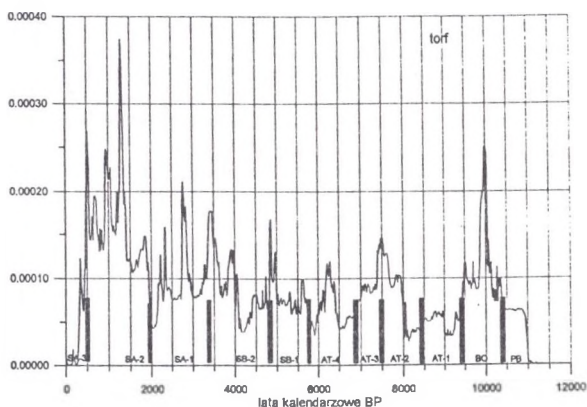
Rys. 2. Rozkład częstości dat dla próbek torfu otrzymane przez sumowanie rozkładów normalnych poszczególnych dat. Skróty literowe: AL – allerod, YD – młodszy dryas, PB – okres preborealny, BO – okres borealny, AT – okres atlantycki, SB – okres subborealny, SA – okres subatlantycki

Fig. 2. Frequency distribution of radiocarbon dates of peat samples. AL – allerod, YD – Younger Dryas, PB – Preboreal, BO – Boreal, AT – Atlantic, SB – Subboreal, SA – Subatlantic



Rys. 3. Rozkład częstości dat dla próbek gytii otrzymane przez sumowanie rozkładów normalnych poszczególnych dat. Skróty literowe – jak na rys. 2

Fig. 3. Frequency distribution of radiocarbon dates of gyttja samples

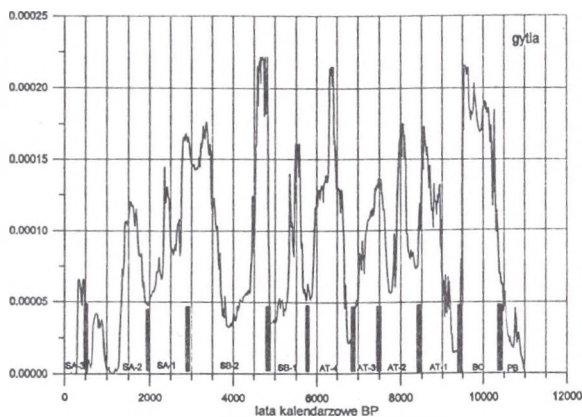


Rys. 4. Rozkład częstości dat dla próbek torfu w skali lat kalendarzowych. Skrót literowy - jak na rys. 2

Fig. 4. Frequency distribution of radiocarbon dates of peat samples in callendric years

Również w tym przypadku przebiegi rozkładów częstości dat dla torfu i gytii są w dobrej zgodności z granicami faz klimatycznych i wykazują dobrą korelację ze sobą jeśli chodzi o położenie minimów i maksimów.

Na rysunkach 2 i 3 oraz 4 i 5 wysokości maksimów i głębokości minimów są różne,



Rys. 5. Rozkład częstości dat dla próbek gytii w skali lat kalendarzowych. Skróty literowe - jak na rys. 2

Fig. 5. Frequency distribution of radiocarbon dates of gyttja samples in callendric years

ponieważ zależą one od całkowitej liczby datowanych próbek, jak również od ilości próbek przypadających w danym przedziale czasu. Zarówno całkowite liczby próbek jak i liczby próbek w poszczególnych przedziałach czasu są różne dla obu typów analizowanych materiałów.

## 5. Podsumowanie

Wstępne wyniki sugerują przydatność statystycznej analizy danych radiowęglowych do odtwarzania globalnych zmian środowiska w przeszłości.

Planowane są dalsze prace dotyczące tego tematu, między innymi: analizy statystyczne dla innych typów materiału, stworzenie kryterium istotności minimów i maksimów na wykresach częstości dat. Otrzymane wyniki zostaną porównane z globalnymi zapisami geofizycznymi – w szczególności z danymi paleomagnetycznymi oraz zmianami koncentracji izotopu  $^{18}\text{O}$ . Powstały w ten sposób zespół danych stanie się podstawą do wnioskowania o czasie i charakterze globalnych zmian środowiska naturalnego w przeszłości, a w szczególności określenia granic czasowych faz klimatycznych w skali lat kalendarzowych.

### Podziękowania

Autorzy pragną podziękować doktorowi Andrzejowi Bluszczowi za udostępnienie programu pomocnego przy sumowaniu rozkładów Gaussa jak również za dostosowanie programu kalibracyjnego do kalibracji bardzo dużych grup dat.

## Literatura

Goździk J., Pazdur M.F., 1987, Frequency distribution of  $^{14}\text{C}$  dates from Poland in the time interval 12–45 kyr, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka–Fizyka, z. 56, Geochronometria Nr 4, p. 27–42.*

Michczyńska D. J., Pazdur M. F., 1989, Probabilistyczna kalibracja dat radiowęglowych, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka–Fizyka, z. 61, Geochronometria Nr 6, p. 37–60.*

Michczyński A., Pazdur M.F., 1989, Lokalna mikrokomputerowa baza danych datowań radiowęglowych; *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Matematyka–Fizyka, z. 61, Geochronometria Nr 6, p.27–35.*



Michczyński A., Pazdur M.F., 1994, Gliwicka baza danych datowań radiowęglowych – stan aktualny; *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, s. *Matematyka-Fizyka*, z. 71, *Geochronometria* 10, p.47–60.

Pazdur M. F., Michczyńska D. J., 1989, Improvement of the procedure for probabilistic calibration of radiocarbon dates, *Radiocarbon*, vol. 31, p. 824–832.

L. Starkel, 1991, *Rola holocenu w ewolucji środowiska i jego stratygrafia*, [w:], *Geografia Polski. środowisko przyrodnicze*, L. Starkel (red.), PWN Warszawa.

## Abstract

Since the fifties the radiocarbon dating technique has become a standard tool for Quaternary geologists and archaeologists, as well as for specialists involved in studies of environmental processes. Since early seventies altogether than 6000 analyses have been done in Gliwice Radiocarbon Laboratory. Majority of samples came from the territory of Poland. All essential information concerning samples are stored in Gliwice Radiocarbon Databank. The data collected till now concern 3000 samples. They are regarded as physical data, and elaborated statistically, with a special emphasis on their properties related to the past environmental and climatic changes. Frequency distributions of radiocarbon dates were made. An interpretation of the frequency distributions is based on two basic assumptions:

- The number of  $^{14}\text{C}$  – dated samples is proportional to the total amount of organic matter deposited in sediments.
- Total amount of organic matter deposited in sediments depends on paleogeographical conditions. Preliminary results for dates obtained on samples of peat and gyttja from the territory of Poland are in good agreement with chronostratigraphy proposed by L. Starkel.